



Case01: BIM hos mindre arkitektrådgiver

Casebeskrivelse

Vestergaard, Flemming; Karlshøj, Jan; Hauch, Peter ; Lambrecht, Jan ; Mouritsen, Jan

Publication date:
2012

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Vestergaard, F., Karlshøj, J., Hauch, P., Lambrecht, J., & Mouritsen, J. (2012). *Case01: BIM hos mindre arkitektrådgiver: Casebeskrivelse*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering. DTU Byg-Rapport No. SR 12-02

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

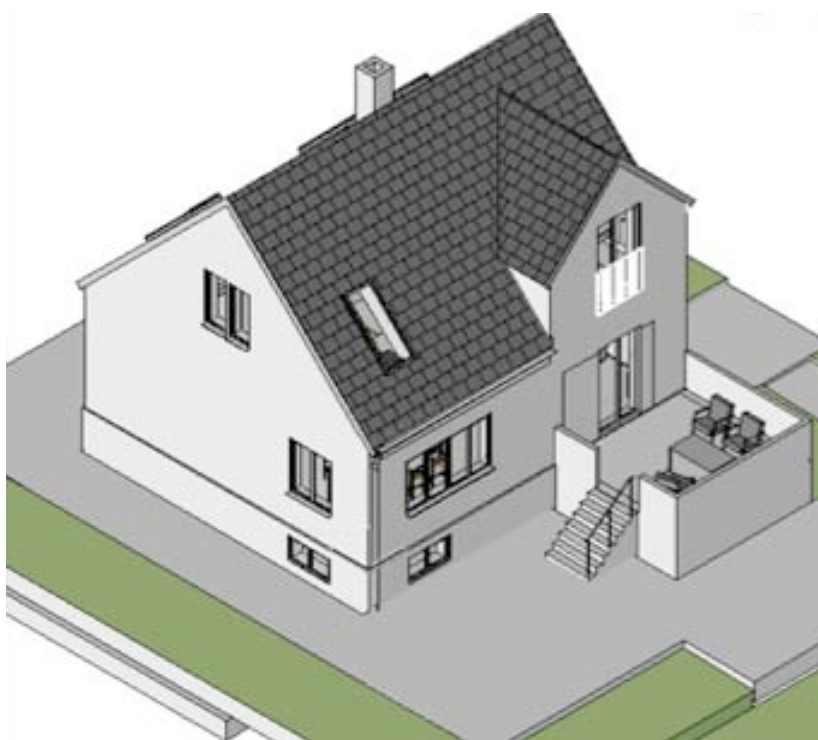
Måling af økonomiske gevinster ved Det Digitale Byggeri

Et forskningsprojekt finansieret af Klima-, Energi-, og Bygningsministeriet

Case01:

BIM hos mindre arkitektrådgiver

Casebeskrivelse



DTU Byg Rapport SR 12-02

Forfattere:

ØG-DDB projektgruppen består af:

Flemming Vestergaard, DTU Byg

Jan Karlshøj, DTU Byg

Peter Hauch, Arkidata

Jan Lambrecht, TI og DS

Jan Mouritsen, CBS, Department of Operations Management

DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet



DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg

Bygningsstyrelsen



BYGNINGSSTYRELSEN
Klima-, Energi- og Bygningsministeriet

Indholdsfortegnelse:

Sammenfatning	3
Caseudvælgelsen og dataindsamling	4
Beskrivelse af byggeprojektet	5
Beskrivelse af IKT-konceptet	6
IKT-konceptets potentialer.....	7
Initiativet til IKT-konceptet	9
Caseprojektets parter	9
BIM karakteristika for casen.....	10
Omkostninger.....	12
Hovedproces 1: Udarbejdelse af skitseforslag.....	13
Hovedproces 2: Udarbejdelse af myndighedsprojekt	16
Hovedproces 3: Hovedprojektering og udførelse	18
Opsummering af effektiviteten	21
Barrierer og forudsætninger for implementering	24
Konklusion	25

Tilgængeligt materiale:

4 casebeskrivelser:

Case01 BIM hos mindre arkitektrådgiver

Case02 BIM hos større ingeniørrådgiver

Case03 BIM hos driftsherre og byg- og driftsherrerådgiver

Case04 BIM hos større entreprenør

Metodemanualen ØG-MM

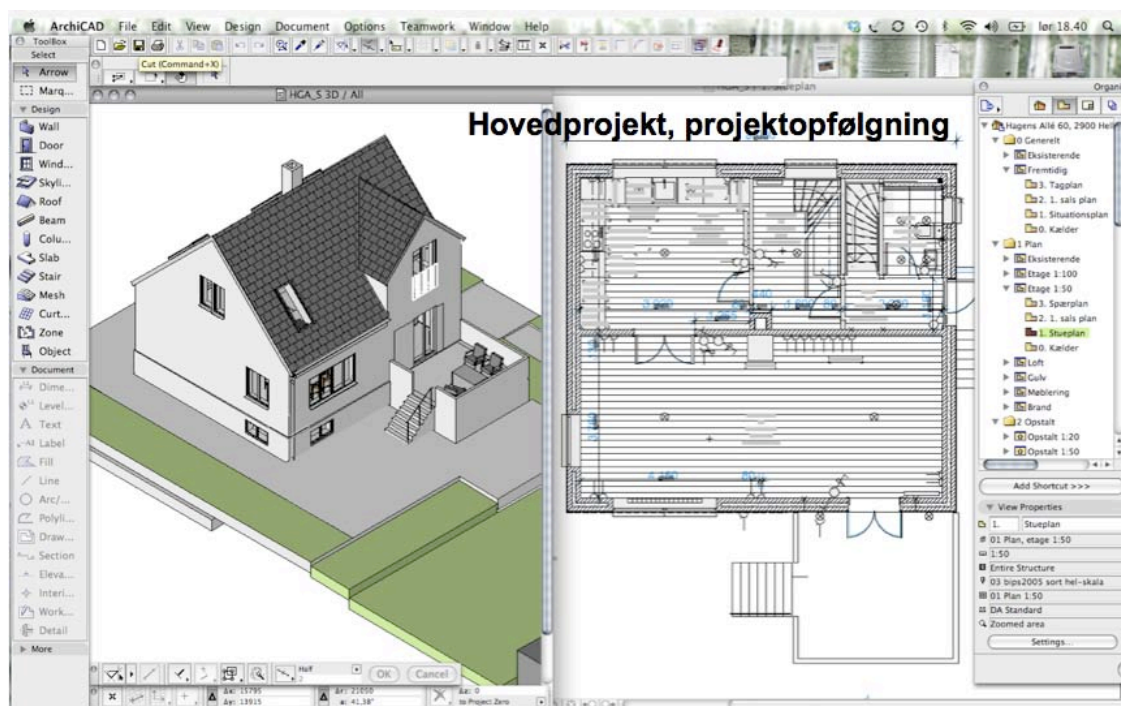
Dette er metodegrundlaget. Det består af en **Casestudiedrejebog**, der beskriver processen samt værktøjerne, **Effektivitetsskema**, i form af regneark med tematiske faneblade.

ØG-DDB Projektrapport

Her kan man læse om baggrunden for casestudierne, de væsentlige indikatorer og en generel opsamling af resultaterne fra casestudierne.

Casebeskrivelse for case 01

BIM hos mindre arkitekturrådgiver



Figur 1: Illustrationen viser et af de to mindre byggeprojekter, der er med i casen. På brugerfladen ses forbindelsen mellem en 3D model og en 2D tegning.

Sammenfatning

Konceptbeskrivelse

Casen beskriver et IKT-koncept, hvor en hovedrådgiver, en mindre arkitektvirksomhed specialiseret i renovering og ombygning af mindre boligprojekter, anvender en modelbaseret arbejdsmetode i tre hovedleverancer for tegnestuen: et dispositionsplanforslag, et forprojekt/myndighedsprojekt og et hovedprojekt efterfulgt af udbud, tilsyn og aflevering. Et IKT-koncept beskriver her en informationsteknologisk implementeringsstrategi, der indeholder 3D arbejdsmetoder og digitale modelbaserede værktøjer anvendt i et byggeprojekts processer.

Casestudiet

Der er gennem et casestudie identificeret nogle aktiviteter i processerne, hvor rationaliseringsgevinster og kvalitative gevinster er målt finansielt og/eller ved en skaleret værdisætning. Tilsvarende er de omkostninger, som er forudsætninger for IKT-konceptet, opgjort finansielt. Det gælder både de initiale engangsinvesteringer og de omkostninger, der er forbundet med driften af IKT-konceptet, licenser, opgraderinger, kompetenceløft m.m.

Gevinstområder

Hovedresultaterne fra casestudiets målinger er, at det forretningsmæssigt hænger sammen for en mindre rådgivervirksomhed at gennemføre sine skitserings- og projekteringsaktiviteter med anvendelse af en modelbaseret 3D arbejdsmetode. Rådgiverhonoraret er overordnet det samme som for en tilsvaren-

de dokumentbaseret projektering. De ekstra omkostninger, der er forårsaget af IKT-konceptet, bliver modsvaret af de øgede gevinster, som konceptet giver. Dog har bygherren indvilget i at honorere en fremskyndet merydelse i skitsefasen til opbygningen af den digitale bygningsmodel.

De rationaliseringsgevinster, som ligger i IKT-konceptet, blev overvejende høstet af bygherren i form af:

- billigere tilbud fra entreprenøren (forventet rationaliseringsgevinst indregnet i tilbuddet),
- energisimulering af to scenarier, som kan reducere udgifter til energiforbrug i driftsfasen.

Hertil kommer, at 3D arbejds metode konceptet tilbyder en lang række nye muligheder, som er helt fraværende ved et dokumentbaseret koncept. Nogle af disse muligheder blev udnyttet i casen i forbindelse med tegningsgenerering, 3D visualisering, styklistegenerering og energiberegning samt ved koordinering af projekthinformationerne via den digitale bygningsmodel. Dette sikrede mere konsistente projekthinformationer, bedre og hurtigere kommunikation og dermed tilfredse kunder, bedre kvalitets-sikring og dermed færre fejl samt efterfølgende billigere entreprisetilbud og færre tvister. Disse gevinster er jævnt fordelt mellem byggeprojektets parter.

På **virksomhedsniveau** er resultatet for de to rådgivere, der indgår i projektet, at de meromkostninger IKT-konceptet kræver fuldt ud modsvares af gevinster forårsaget af IKT-konceptet. Begge rådgivere har en mindre, positivt resultat. Herudover giver IKT-konceptet bedre kommunikation med bygherren, en bedre markedsføring af virksomheden og muligheden for at tilbyde nye leverancer samt nye forretningsområder for virksomheden i fremtiden.

På **projektniveau** er der konstateret væsentlige afledte produktivtetsgevinster. Disse er placeret i første omgang hos entreprenøren, i form af en mere konsistent og målrettet projektdokumentation, men da han indløste dem i form af et 10 % billigere entreprisetilbud, endte disse gevinster hos bygherren. Herudover er der muligheder for store potentielle gevinster hos bygherren i form af energimæssige informationer, tilvejebragt gennem simuleringer, som kan udløse store besparelser på bygningens drift mange år frem.

På **sektor- og samfunds niveau** blev der konstateret rationaliseringsgevinster i grænsefladen mellem projektering og udførelse gennem en tendens til billigere tilbud fra entreprenøren når projektmaterialet er kvalitetssikret gennem bygningsmodellering, samt muligheden for energibesparelser i byggeprojektets driftsperiode gennem beslutningsstøtte ved simulering. Begge gevinster er et resultat af IKT-konceptet.

Caseudvælgelsen og dataindsamling

ØG-DDB projektgruppen har forud for casestudierne foretaget en værdianalyse, af hvilke IKT-koncepter (processer, aktører og metoder) der har den største nytteværdi for byggesektoren. Der lægges vægt på faser, der er involveret, BIM hovedaktiviteter, virksomhedstype, virksomhedsstørrelse, projekttype, samarbejdsrelationer, integrationsniveau, modelrepræsentation, målgruppeniveau, opfyldelse af bygherrekraevne og en samlet vurdering af nytteværdien, vægtet i forhold til målsætningen for casestudierne.

Værdianalyse

Analysen tager udgangspunkt i hele byggeriets værdikæde, og der udpeges processer, hvor på den ene side digitaliseringen af processer vurderes at give store effekter, og hvor på den anden side nytteværdien er størst for målgruppen. Input til analysen er projektgruppens teoretiske og praktiske viden om digitaliseringens påvirkning af byggeprocesserne suppleret med dansk og international litteratur om

emnet samt kendskab til aktuelle projekter og danske virksomheder, der ligger i front inden for digitaliseringen af deres processer.

Ud fra værdianalysen er denne case valgt: BIM hos en mindre arkitektrådgiver. Den repræsenterer et IKT-koncept, der har stor betydning på virksomheds- og projektniveau, og som også er interessant for sektoren og samfundsmæssigt på grund af målgruppens betydelige størrelse.

IKT-konceptet repræsenterer en lang række faser i et projektforsløb, fra programfasen til produktion og dermed potentielt alle DDB's bygherrekrav. Målgruppen er stor, idet der er 642 mindre arkitektvirksomheder, som udgør 87,5 % af samtlige arkitektvirksomheder. Mindre arkitektvirksomheder er defineret som virksomheder med fra 1 til 9 beskæftigede. Tallene er taget fra DANSKE ARK's medlemsdatabase for 2011. Der er flere forretningsområder involveret: planlægning/ledelse, marketing, økonomi, bygherrepræsentation, projektering, myndighedsbehandling og tilsyn. Af projekttyper er de 3 projekttyper dækket: nybygning, ombygning og renovering, dog med vægt på ombygning og renovering. Og endelig er gevinstpotentialitet højt, både på det kvantitative og det kvalitative område.

Dataindsamling

Data er indsamlet af repræsentanter for projektgruppen, som har holdt en række møder med projekttaktører fra de involverede virksomheder, som repræsenterer processer, som projektgruppen mener har et lovende gevinstpotentialitet. Under møderne spørges ind til omkostninger, gevinster og forudsætninger, som dokumenteres i metodeværktøjet. For yderligere information om det metodiske henvises til ØG-MM Metodemanualen.

De data, der er indsamlet til case01, er samlet i metodeværktøjet ØG-MM's 'Effektvurdering' for case01 samt i mødereferater, som er placeret på projektets projektweb.

Beskrivelse af byggeprojektet

Casestudiets formål er at identificere og beskrive en mindre arkitektvirksomheds gevinster ved at anvende 3D arbejdsmetode i de tidlige faser i et byggeprojekt, fra programmering over design til projektering. I casestudiet tages der udgangspunkt i et konkret byggeprojekt. I denne case er to byggeprojekter registreret. Det ene er en ombygning og renovering af et enfamiliehus på Hagens Allé i Hellerup. Det andet er større ombygning af et 2 etages baghus i Store Kongensgade i København. Der er i denne case valgt 2 byggeprojekter for at kontrollere de registrerede data. Hagens Allé projektet løber hele konceptet igennem og det er det projekt, denne casebeskrivelse har mest fokus på. Store Kongensgade projektet anvendes til at supplere og verificere undersøgelserne.

Formål og program for projekterne: Begge projekter er langt fra banale renoverings- og ombygningsprojekter. De repræsenterer begge store ændringer i bygningstrukturen og nye rumdannelser internt i bygningerne og krav til arkitektonisk udtryk eksternt. Dvs. der fra bygherrerne og arkitektens side lægges vægt på, hvordan de færdige bygninger fremtræder rumligt indendørs og hvordan de fremtræder rumligt og æstetisk i forhold til omgivelserne.

Enfamiliehus på Hagens Allé, Hellerup, ombygning og renovering:

Projektperiode: Projektering og udførelse: 2009.

Lokalisering: Hagens Allé 60, 2900 Hellerup.

Bygningstype: Enfamiliehus.

Bygningstørrelse: 85 m² renoveret, nedrivning 13 m², tilbygning 53 m², i alt 125 m² færdigt brugsareal.

Arkitekt: Tværsnit Arkitekter v/ Sara Asmussen.

Ingeniørrådgiver: Byggerådgivning v/rådg. ing. John Petersen.

Hovedentreprenør: Tømrermester Paul Mikkelsen.

Bygherre: Christian Søltøft, privat bygherre, engangsbygherre.

Driftsherre: Bygherren.

Samarbejdsform: Traditionel hovedentreprise.

Projektsum: 1.800.000 kr., tilbudssum.

Gennemsnitlig m² pris: For færdigt brugsareal: ca. 16.000 kr. (estimat: for renovering 10.000 kr., for nybygning 20.000 kr.).

Arkitekturrådgiverhonorar, skitseprojekt: 16.500 kr.

Arkitekturrådgiverhonorar, hovedprojekt: 122.000 kr.

Ingeniørrådgiverhonorar, hovedprojekt: 20.000 kr.

ØG-DDB interne informationer: Kontaktpersoner i involverede virksomheder: arkitekt Sara Asmussen (SA), Tværsnit Arkitekter; rådgivende ingeniør John Petersen (JP), Byggerådgivning; Tømrermester Paul Mikkelsen (PM).

Beskrivelse af IKT-konceptet

Casen indeholder tre hovedprocesser eller tre faser af et overordnet koncept, nemlig at en arkitekturrådgiver anvender 3D bygningsmodellering som basisværktøj og metode til de forskellige hovedaktiviteter til design, projektering og udførelse, der spænder over de tre faseforløb:

- A. Dispositionsplanfasen (skitseforslag).
- B. Forprojektfasen (myndighedsprojekt).
- C. Hovedprojektfasen (hovedprojekt) med efterfølgende udbud og tilsyn på byggepladsen.

Der er foretaget målinger af alle tre koncepter, men for at gøre resultaterne simple at formidle, er det valgt at betragte IKT-konceptet som ét, da koncept A er indeholdt i B og B i C. Imidlertid indebærer konceptet, at der bliver lagt flere ressourcer i den tidlige fase, selve modelopbygningen, hvorfor det giver god mening at differentiere mellem den tidlige fase (A) og de senere (B og C).

IKT-konceptet er ikke direkte underlagt Det Digitale Byggeri's bygherrekrav, der pr. 01.03.2011 er erstatet af 'Bekendtgørelse om krav til anvendelse af Informations- og Kommunikationsteknologi i byggeri' (bekendtgørelse 1381), på grund af projektsummens typisk beskedne størrelse (under 5 mio. kr.) samt bygherrens status som privat. I det følgende anvendes betegnelsen 'bygherrekrav' for bekendtgørelsens krav. Det vurderes, at IKT-konceptet kan opfylde bygherrekravene vedr. projektweb: Krav nr. 2, Det kan opfylde de relevante dele af bygherrekravene vedr. brug af digitale bygningsmodeller i 3D: Krav nr. 3, her samtlige underpunkter, dog er pkt. 3 ikke relevant (krav til bygherren) og punkt 6 har ingen nytteværdi, da der ikke anvendes DBK ved udveksling. Det kan også delvist opfylde de relevante punkter vedr. digitalt udbud, krav nr. 4. Bygherrekravene vedr. digital aflevering: Krav nr. 5 kan ligeledes opfyldes på de relevante områder, dækkende afleveringsmetode III og dele af II. Da IKT-konceptet omfatter en digital, objektbaseret bygningsmodel, vurderes det, at konceptet vil kunne opfylde de andre bygherrekrav fuldt ud ved en mindre arbejdsindsats fra arkitekt- og ingeniørrådgiveren.

IKT-konceptet går ud på at erstatte anvendelsen af 2D tegninger i designfasen med en digital 3D bygningsmodel, som så er omdrejningspunktet for de hovedaktiviteter, der foregår i design- og projekteringsfasen:

1. Oprettelse af byggesag på projektweb, 'Basecamp'.
2. Koordinering af projektbeslutninger strukturelt og byggeteknisk.
3. Koordinering med andre parter i projektet (udveksling proprietært med anden part (potentielt IFC)).
4. Kommunikation med bygherren gennem visualiseringer af modellen (leverance: renderede 3D billeder og modelafbildning ved viewing).

5. Generering af traditionelt tegningsmateriale direkte fra bygningsmodellen med en mindre efterbehandling.
6. Simulering af energiforbrug på overslagsniveau med anvendelse af bygningsmodellens objektinformationer.
7. Tilrettelæggelse af udbudsmateriale, hvor tegninger og styklister genereres fra bygningsmodellen. Forestå udbuddet.
8. Kontrol og kommunikation af løsninger under udførelsen ved hjælp af bygningsmodellen.
9. Aflevering af 'as built' dokumentation samt bygningsmodellen i IFC-format.

IKT-konceptet ligger inden for de relevante nationale guidelines og standarder, der er udviklet i forbindelse med DDB og Foreningen bips's publikationer: primært '3D arbejdsmetode 2006', 'CAD-manual 2008', 'Objektstruktur 2009', 'Tegningsstandarder 2007' samt Foreningen bips's byggesagsbeskrivelse og beskrivelsesstruktur.

Værktøjet, der anvendes til modellering af bygningsmodellen, er ArchiCAD, version 14. Dette værktøj understøtter derudover aktiviteterne: visualisering, tegningsgenerering, udveksling gennem IFC og styklistegenerering.

Værktøjet, der anvendes til overslagsberegning af energiforbrug, er EcoDesigner, hvor der på tegnestuen er udviklet et setup, hvor modeldata direkte overføres til simuleringsprogrammet for beregning. Grundet den simple overførsel er energioverslagsberegningen en gratis tillægsydelse i konceptet.

Vedr. detaljering og konkretiseringsgrad af bygningsmodellerne opererer IKT-koncept, del A, med DDB's informationsniveau 2 (volumen- og rummodel; IKT-koncept, del B, med informationsniveau 3 (myndighedsmodel med visse materialeegenskaber) og IKT-koncept, del C, med informationsniveau 4 (hovedprojektmodel med tilstrækkelige informationer til udførelsen).

Output fra IKT-konceptet overholder kravene i Ydelsesbeskrivelsen mellem FRI og Danske Ark, ABR89 og Bekendtgørelse 1381, tidligere 1365 (de for konceptet relevante bygherrekrav) og giver derudover en merydelse i form af rumlige visualiseringer og et energioverslag.

IKT-konceptet er udviklet til mindre projekter og primært renovering og ombygning. Dette er begrundet i arkitektvirksomhedens projektportefølje, men IKT-konceptet vil kunne anvendes ved større byggesager og ved nybyggeri.

IKT-konceptets potentialer

For at kunne specificere de områder, der skal underkastes økonomiske målinger og vurderinger er der i projektgruppen blevet foretaget en analyse af de potentialer, IKT-konceptet indeholder ideelt. De faktisk udførte effektivt-vurderinger vil godtgøre, i hvilket omfang potentialerne er indfriet. Der peges på følgende nøgleprocesser struktureret i forhold til de faser, hvori de optræder.

Programfasen:

- Afklaring af programmet for byggeprojektet ved hjælp af bygningsmodel, informationsniveau 0. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: Bygherre og arkitekt.
- Kommunikation mellem bygherre og arkitekt. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: arkitekt og bygherre.
- Etablering af udvekslingsplatform, projektweb. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: alle projektparter.

Skitseprojektfasen:

- Projektudvikling og koordinering via 3D objektbaseret bygningsmodel. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: arkitekten som enerådgiver.

- Koordinering med de andre projektparter via 3D objektbaseret model. Direkte og indirekte effekter, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og andre rådgiverpartnere.
- Kommunikation med bygherre via 3D objektbaseret model gennem visualiseringer af model. Leverancer: renderede billeder og 3D model til viewing. Direkte effekt, kvalitativ. Målgruppe: arkitekt og bygherre.
- Simulering af energiforbrug og omkostninger til anlæg og drift. Direkte effekter, kvantitativ.

For- og hovedprojektering:

- Myndighedsbehandling med brug af 3D objektbaseret bygningsmodel. Direkte og indirekte effekter, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og myndigheder.
- Koordinering af projekthinformationer, konsistenskontrol via bygningsmodel. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og andre rådgiver partnere.
- Udarbejdelse af komplet tegningsmateriale fra den 3D objektbaserede bygningsmodel. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: arkitekt og andre rådgiver partnere.
- Simulering af bygningsfysiske egenskaber, energiforbrug, indeklima, CO2 og bæredygtighed mm. Indirekte og afledte effekter. Målgruppe: bygherre og samfundet.
- Inddragelse af produktionsinformationer, bygningsdelsobjekter, produktionsteknologi, bygbarhed mm. Direkte, indirekte og afledte effekter, kvantitativ. Målgruppe: rådgiverne, entreprenørerne og byggevarerleverandørerne.
- Kalkulation af anlægsomkostninger og drift. Direkte og indirekte effekter, kvantitativ. Målgruppe: bygherre.

Udbud/tilbud:

- Generering af styklister fra bygningsmodellen til Beskrivende Mængdefortegnelser. Større sikkerhed i tilbudsgivningen. Direkte effekt, kvantitativ. Målgruppe: arkitekten og bygherre(arkitekturrådgivning).
- Etablering af udbudsportal til digitalt udbudsmateriale samt til digitale tilbud. Afledte effekter, kvantitativt. Målgruppe: arkitekt plus hovedentreprenør og fagentreprenører.

Produktionsforberedelse:

- Konsistenskontrol af model. Afledte effekter, kvantitativ. Målgruppe: entreprenørerne.
- Bygningsmodel som støtte for detaljeret tids- og økonomiplanlægning, 4D-5D. Afledte gevinster, kvantitative. Målgruppe: hovedentreprenør.

Produktion:

- Bygningsmodel som støtte for kvalitetssikring, færre fejl på byggepladsen. Afledte effekter, kvantitativ. Målgruppe: entreprenører.
- Bygningsmodel som støtte for projektstyring, indkøb og logistik (lean). Afledte effekter. Målgruppe: entreprenører.
- Bygningsmodel som støtte for kvalitetssikring, herunder kontrol gennem tilsyn. Indirekte og afledte effekter. Målgruppe: arkitekt og entreprenører.
- Bygningsmodel som støtte til cashflow og projektøkonomi. Afledte effekter, kvantitative. Målgruppe: bygherrerådgiver (arkitekt) og entreprenører.

Drift og vedligehold:

- Bedre driftsøkonomi gennem energisimulering via bygningsmodel i projekteringsfasen. Afledte effekter, kvantitative. Målgruppe: driftsherren.

Initiativet til IKT-konceptet

Det anvendte IKT-koncept i casen er et produkt af arkitekt Sara Asmussens arbejde med at anvende 3D modelleringsværktøjet ArchiCAD. Sara Asmussen har arbejdet professionelt med værktøjet ArchiCAD siden 1998, men reelt har casens IKT-koncept (i det nuværende setup) været i brug siden 2007. ArchiCAD er et DB baseret modelleringsværktøj, som fra starten i 1987 har fulgt BIM arbejdsmetoden. Gennem sin studietid som arkitektstuderende har Sara Asmussen løbende eksperimenteret med og afprøvet, hvorledes denne nye BIM baserede arbejdsmetode kan forbedre arkitektens arbejdsproces og projektoutput. Hun traf valget at arbejde efter en 3D arbejdsmetode, da hun syntes hun fik en bedre kvalitet både i formgivningen af bygningerne og i projekt materialet. Hertil kommer sikkerheden ved at opbevare projekthinformationer digitalt i en konsistent datastruktur.

Rådgivende ingeniør John Petersen har bl.a. via sit engagement i fælles byggesager med Sara Asmussen løbende bidraget til IKT-konceptets udvikling inden for arbejdsområderne: konstruktionsmodellering og beregning samt varmetabsberegning.

Caseprojektets parter

Til casestudierne er der udvalgt 5 parter, som overordnet tegner IKT-konceptet. Hver af disse er kort beskrevet i det følgende.

Tværsnit Arkitekter/BIM-konsulenterne v. Sara Asmussen

BIM-konsulenterne er en sammenslutning (et vidensnetværk) af 6 arkitekter og en ingeniør, som både deltager i udviklingsaktiviteter som Det Digitale Byggeri's projekter og BuildingSMART og udfører projektering af mindre nybyggeri og renoveringsprojekter.

Sara Asmussen (SA) er uddannet arkitekt i 1997 og er specialist i nye digitale arbejdsmetoder (3D arbejdsmetoden), herunder energisimulering med BIM-workflow. Sara Asmussen er indehaver af virksomheden Tværsnit Arkitekter, som er en enkeltmands virksomhed, og er initiativtager til vidensnetværket BIM-konsulenterne. Sara Asmussen er ophavskvinde til casens IKT-koncept og har rollen som arkitekt i casens 2 byggesager.

Arkitektens IKT-kompetence er, ved brug af værktøjet 'Strategisk IKT-anvendelse' (ØG-MM, version 1), blevet vurderet til at være meget høj (karakteren A ud fra en skala fra A til D, hvor A er det højeste).

Rådgivende ingeniør John Petersen

Rådgivende ingeniør John Petersen (JP) er en fast samarbejdspartner med Sara Asmussen. Han indgik i byggeprojektet Hagens Allé 60. Det er en enkeltmandsvirksomhed. Han blev uddannet til akademiingeniør i 1992 og startede sin egen rådgivende ingeniørvirksomhed i 1993.

John Petersen er fagligt interesseret i energirenovering af eksisterende bygninger samt Det Digitale Byggeri. Han er også deltager i vidensnetværket BIM-konsulenterne.

Samarbejdet med Sara Asmussen startede i 2007, og de har sammen gennemført omkring 5 byggesager sammen.

I det daglige bruger han bl.a. ArchiCAD (og andre digitale værktøjer) ved modellering af bygninger, hvorfra han 'trækker' tegninger, mængder og data til brug for beregninger (priser, statik, varmetab og energi etc.).

Tømrermester Paul Mikkelsen

Tømrermester Paul Mikkelsen (PM) har i et udbud vundet byggeopgaven Hagens Allé 60 med en tilbudssum på ca. 2 mio. kr. Byggeprojektet er udbudt som hovedentreprise (tømrer) med i alt 7 fag entrepriser involveret i byggeprojektet.

Paul har tidligere samarbejdet med Sara Asmussen i 3 byggesager. Han har ikke ud over samarbejdet med Sara Asmussen beskæftiget sig med Det Digitale Byggeri.

Bygherre Christian Søltoft

Bygherre Christian Søltoft (CS), Hagens Allé 60, er en engangsbygherre uden kendskab til indholdet i Det Digitale Byggeri.

Projekteringsopgaven blev sendt i udbud til 2 arkitektvirksomheder, hvor Tværsnit Arkitekter blev valgt. Årsagen hertil var bl.a. de idéer og visioner, som tegnestuen præsenterede, men også den avancerede brug af teknologi (BIM) var udslagsgivende for bygherrens valg.

Bygherre Kim Steffen Nielsen

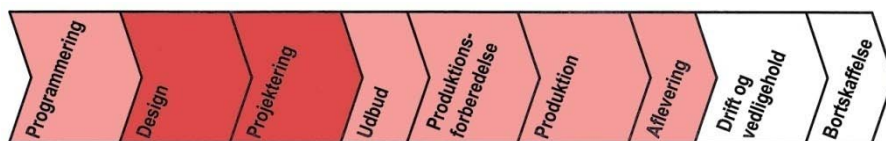
Bygherre Kim Steffen Nielsen (KSN), St. Kongensgade 71A, er en engangsbygherre, der ikke har kendskab til Det Digitale Byggeri eller de IKT-værktøjer, der traditionelt anvendes i byggebranchen.

Bygherren har valgt at få Tværsnit Arkitekter til at udarbejde et skitseforslag og myndighedsprojekt.

BIM karakteristika for casen

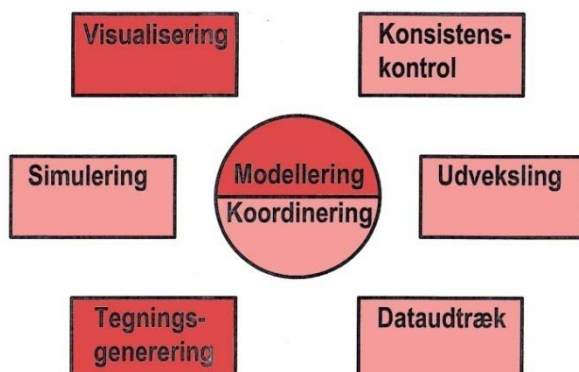
Her beskrives casen oversigtligt i en samlet BIM kontekst. Casens IKT-koncept placeres i forhold til: faser, der er involveret; hovedaktiviteter støttet af bygningsmodeller; det tekniske samarbejdsniveau samt modelniveau, som beskriver hvor intelligente de anvendte bygningsmodeller er. Mørk farve i graferne markerer: fuldt dækket; de lyse markerer: er repræsenteret, men i mindre omfang.

Hvilke faser er involveret



De to byggeprojekter, der er underkastet analyse, repræsenterer hele IKT-konceptets procesforløb. Det første projekt er et skitseprojekt, som repræsenterer programfasen og dispositionsplanfasen. Det andet projekt beskriver det samme faseforløb plus de efterfølgende for- og hovedprojekt faser samt udbud/tilbud, udførelse og aflevering. Dog har konceptet fokus på design- og projekteringsfaserne. Leverancerne er et skitseforslag (informationsniveau 2), et myndighedsprojektmateriale (informationsniveau 3) og et hovedprojektmateriale (informationsniveau 4), som senere opdateres til 'as built' (informationsniveau 6) og afleveres. Leverancerne er dokumenter, men genereret ud fra en digital bygningsmodel. I de efterfølgende faser har bygningsmodellen ikke været aktiv.

Hvilke hovedaktiviteter er involveret



Modellering/projektering fra program til myndighedsprojekt og senere hovedprojekt.

Koordinering foregår gennem én rådgiver (arkitekten) og i et ikke formaliseret samarbejde.

Konsistenskontrol udført visuelt på model – og delvist automatisk gennem modelleringsværktøjets simple kollisionstjek (en delmængde af konsistenskontrol).

Simulering af energiforbrug på overslagsniveau. Andre simuleringer indgår ikke.

Dataudtræk til beskrivende mængdefortegnelse til udbudsforretning på informationsniveau 4. Andre anvendelser indgår ikke.

Udveksling af bygningsmodel med anden rådgiver i proprietært format (ArchiCAD og EcoDesigner).

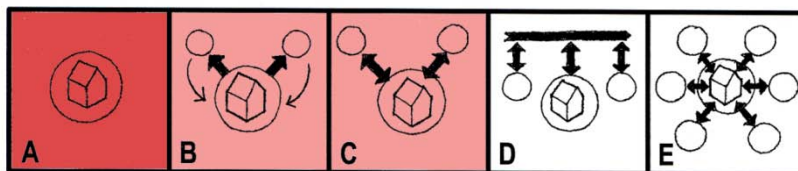
Tegningsgenerering fra model til 2D tegninger på informationsniveau 2 og 3 til myndighedsbehandling.

Tegningsgenerering fra model til 2D tegninger på informationsniveau 4 til udbud og udførelse.

Visualisering fra model for kommunikation/præsentation og beslutningstagen for bygherren.

Sammenfattende kan konkluderes, at samtlige BIM hovedaktiviteter er repræsenteret, men på varierende niveau.

Hvilke samarbejdsniveauer er involveret



Signaturforklaring:

A: Enkeltfags anvendelse af model. **B:** Envejsdeling af modelinfo. **C:** Tovejsdeling af modeller.

D: Distribuerede modeller på lokal server. **E:** Fuld integreret modelsamarbejde over netværk.

For definitioner af samarbejdsrelationer henvises til *Metodemanualen ØG-MM*.

Casen repræsenterer samarbejdsrelationen: **Enkeltfags anvendelse af bygningsmodeller**. Dette er den primære samarbejdsform. Relationen er intern (intra) i den enkelte virksomhed. Man arbejder med egen fagmodel og anvender visse af hovedaktiviteterne til egne formål. Man leverer de aftalte, traditionelle leverancer i form af dokumenter til andre parter. Man anvender mere primitive udvekslingsmetode end projektweb. **Envejsdeling af modeller** er repræsenteret i casen ved udveksling i mindre omfang med andre rådgivere og entreprenører. **Tovejsdeling af modeller** er også repræsenteret i casen, da der foregår udveksling i mindre omfang mellem to rådgivere på modelniveau.

Casen repræsenterer overordnet en samarbejdsform, hvor bygningsmodellen er forankret hos én rådgiver med digital énvejskommunikation til andre, men med tilbageførsel af information traditionelt (ikke modelbaseret).

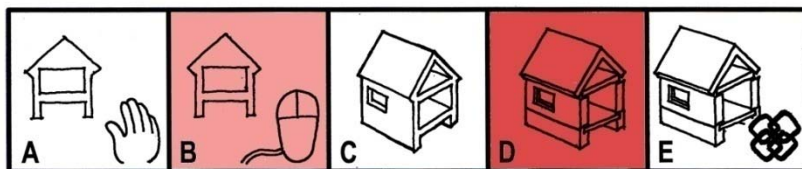
Arkitekten har været koordinator af modelarbejdet. Koordination med konstruktionsrådgiver er foregået ved udveksling af modeller i samme format mellem de to parter. Koordination med installationsrådgiver er foregået traditionelt via dialog og gennem 2D tegninger, hvor installationer er indtegnet på arkitektens tegninger).

Koordination med entreprenører er foregået gennem 2D tegninger og dialog.

Koordination/kommunikation med bygherre er foregået gennem 2D og 3D tegninger og visualiseringer og dialog.

Der modeludveksles én vej med andre parter i et proprietært format. Tilbageføring af projektfærdigheder fra andre parter til modellen foregår manuelt.

Hvilke modelniveauer er involveret



Signaturforklaring:

A: Manuel 2D tegning. **B:** Digital 2D tegning. **C:** 3D geometrimodel. **D:** Objektbaseret model.

E: Integreret BIM.

For definitioner af modelniveauer henvises til *Metodemanualen ØG-MM*.

Casen repræsenterer modelniveauerne: **Objektbaseret model**. Modellerne er objektbaserede og beskriver objekter og egenskaber indenfor en eller flere fagdiscipliner. Her en arkitektfagmodel. Modellerne er skabt med et bygningsintelligent modelleringsværktøj (ArchiCAD) og der anvendes modellerne eget proprietære format. Der arbejdes i casen også med **Digitale 2D tegninger**. Disse genereres fra direkte fra bygningsmodellen og, hvorfor denne har den primære rolle i casen.

I første fase frem til myndighedsprojektet arbejdes der med en intelligent digital bygningsmodel, dog med bygningsobjekter på et generisk og/eller geometrisk niveau.

I projekteringsfasen videreføres/konkretiseres modellen fra informationsniveau 2-3 til niveau 4, således at bygningsobjekterne repræsenterer reelle bygningsdelstyper (forudsætning for styklistegenerering).

Omkostninger

Omkostningerne forbundet med anvendelsen af IKT-konceptet er blevet opgjort på basis af en række forudsætninger, som projektgruppen har opstillet og som kort listes i det følgende:

- Casens IKT-koncept bliver reelt anvendt i en række forskellige byggeprojekter, og derfor er det valgt at fordele de registrerede omkostninger som en årlig udgift i en afskrivningsperiode på 3 år.
- Driftsomkostningerne til opgraderinger m.v. er beregnet ud fra casens økonomiske andel af virksomhedens årlige omsætning. Andre almindelige driftsmæssige omkostninger (f.eks. forbrug af strøm, plotning, standard software etc.) som er anvendt under IKT-konceptet medtages ikke i denne opgørelse.
- Omkostninger i forbindelse med køb og leasing af software vil kun blive anført i de situationer, hvor projektet decideret kræver nye licenser af BIM software for at kunne gennemføre arbejdsprocesser. Baggrunden er, at alternativet vil kræve licenser til anden software, eksempelvis på CAD-niveau, AutoCAD o.l. som omkostningsmæssigt vil ligge på samme niveau.

Omkostningerne ved IKT-konceptet er opgjort inden for 2 hovedkategorier: engangsudgifter i forbindelse med udvikling og implementering samt driftsomkostninger.

Udviklings- og implementeringsomkostninger

Inden for denne hovedkategori er der beregnet følgende omkostninger forårsaget af IKT-konceptet. Omkostningerne er værdisat med en faktor svarende til caseprojektets andel af årsomsætningen. For arkitekten 0,4 og for konstruktionsingeniøren 0,3.

- Udviklingsindsats. Ingen målt omkostning, da konceptudviklingen foregår uformelt i forbindelse med de løbende byggeprojekter.
- Ny hardware. Ingen målt omkostning, da IKT-konceptet ikke kræver specielt hardware.

- Ny software. For arkitekten: $38.500/3 \cdot 0,4 = 5.133$ kr. For konstruktionsingeniøren: $50.000/6 \cdot 0,3 = 5.000$ kr.).
- Brugertræning. Ingen målt omkostning.
- Implementering. Ingen målt omkostning.

Totalt er de årlige udviklings- og implementeringsomkostninger uden forrentning for arkitekt og rådgivende ingeniør beregnet til 10.133 kr., som består af 5.133 kr. for arkitekten og 5.000 kr. for ingeniøren.

Driftsomkostninger

I denne hovedkategori er der målt følgende omkostninger:

- Soft- og hardware vedligeholdelse. For arkitekten: $10.000 \cdot 0,4 = 4.000$ kr. For ingeniøren: $10.000 \cdot 0,3 = 3.000$ kr.
- Implementering, arbejdsmæssige ændringer. For arkitekten: $9.000 \cdot 0,4 = 3.600$ kr. For ingeniøren: $9.000 \cdot 0,3 = 2.700$ kr.).
- Softwareopgraderinger, nye versioner. For arkitekten: $5.500 \cdot 0,4 = 2.200$. For ingeniøren: $5.500 \cdot 0,3 = 1.650$ kr.).
- Leje af software og hardware(inkl. projektweb). For arkitekten: $3.445 \cdot 0,4 = 1.378$ kr.).
- Helpdesk. Ingen omkostning.

Totalt er der målt driftsomkostninger i projektet for arkitekt og rådgivende ingeniør svarende til 18.528 kr. med 11.178 kr. til arkitekten og 7.350 kr. til ingeniøren.

Hovedproces 1: Udarbejdelse af skitseforslag

Følgende delprocesser er identificeret hos arkitektrådgiver:

- Behovsafklaring plus opmåling og modellering af eksisterende byggeri.
- Specifikation af endeligt byggeprogram i samarbejde med bygherre.
- Udarbejdelse af skitseprojekt 1.
- Udarbejdelse af skitseprojekt 2.
- Valg af endelig skitseprojekt til viderebearbejdning.
- Udarbejdelse af projektmateriale til dispositionsplanforslag, informationsniveau 2.
- Overslagsberegning af varmetab på 2 alternativer.

I denne hovedproces er arkitekten og bygherren de centrale parter i byggeprocessen.

Honoreret merydelse

Den primære rationalitetsgevinst i denne hovedproces er tidsbesparelsen i at udarbejde alternative skitseprojekter ved editering i en digital bygningsmodel, og derved at kunne tilbyde 2 alternative skitseforslag. Samtidigt er projektdata mere konsistente end ved en dokumentbaseret metode, da de refererer til samme projektdatabase. Endelig giver arbejdsmetoden mulighed for kommunikation med bygherren gennem visning af bygningsmodellen. Et skitseprojekt bygger i denne kontekst på en bygningsmodel bestående af objekter på informationsniveau 2 til 3 i forhold til DDB's '3D arbejdsmetode'. Meromkostningen ved modelarbejdet i den tidlige fase for arkitektrådgiver er målt til at være 9.000 kr. Denne meromkostning er blevet honoreret af bygherren af følgende grunde: 1) Forventning om en bedre kommunikation med arkitekten via adgang til bygningsmodellen, 2) muligheden for at vælge mellem to alternative forslag og 3) tillid til rådgiver gennem den transparente og dialogbaserede designproces, hvilket IKT-konceptet modelrepræsentationer bidrager væsentligt til.

Rationaliseringsgevinster

De primære rationalitetsgevinster i denne hovedproces beskrives ved 1) delproces, 2) gevinstværdi, 3) realisator af gevinsten og 4) kilden. Delprocesbeskrivelsen indeholder rationalet i effekten. Gevinstværdien beskriver målte gevinster (finansielt i kr. eller på en skala fra A – D, hvor A er den højeste værdi). Gevinsttyper skelner mellem kvantitative og kvalitative gevinster (vægtes fra A – D). Realisator er de aktører, der får gavn af gevinsten. Kilden beskriver den aktør, der har leveret informationen. Gevinstområderne er grupperet i forhold til den kontekst, de optræder i. Der sondres mellem direkte, indirekte og afledte gevinster afhængigt af projektpart og placering i processen. De potentielle effekter er ikke realiserede gevinster, der opstår enten i dialogen med caseaktørerne eller alene fra projektgruppen. For uddybning af definitioner af gevinsttyperne henvises til Metodemanualen ØG-MM.

Direkte effekter

Adskillige direkte gevinster er blevet identificeret og målsat af arkitekten i denne hovedproces. Værdien er sat i kr. eller er bedømt ud fra en skala fra A til D – hvor A er den højeste. Endvidere er anført hvem gevinsten tilfalder.

- **Større honorar (9.000 kr., tilfalder arkitekt) SA**
Honoraret er 9.000 kr. større end honoraret i et traditionelt gennemført byggeprojekt, hvilket svarer til ca. 7 % af den samlede rådgiveromkostning til og med hovedprojekteringen. Den anvendte 3D arbejdsmetode indebærer et større tidsforbrug i skitsefasen til modelopbygningen. Resultatet er et mindre tidsforbrug til alternative forslag og under hovedprojekteringen. Byggherren indvilgede i at give dette merhonorar i tillid til at arbejdsmetoden ville give et bedre projekt.
- **Mere konsistent skitseprojektmateriale (A, tilfalder arkitekt) SA**
Et mere konsistent skitseprojektmateriale har i denne sammenhæng to betydninger: 1) bedre og mere troværdige visualiseringer i form af 3D billeder og dermed visuel kontrol samt 2) større konsistens i alle data i projektmateriale, da projektinformationerne er tilknyttet en samlet database. Kontrolaktiviteterne kan begrænses.
- **Hurtigere ændringer i og opdatering af projektmateriale (A, tilfalder arkitekt og bygherre) SA**
Beslutninger truffet af bygherre og arkitekt indføres langt hurtigere i skitseprojektmateriale, da projektmateriale opdateres automatisk, når bygningsmodellen opdateres. Hurtigere kommunikation ved vurdering og beslutning af alternative forslag. Hurtigere for arkitekten at udarbejde alternative forslag.
- **Øget tryghed gennem processen, bedre kvalitetssikring (A, tilfalder bygherre, arkitekt) SA, CS**
Denne gevinst indeholder både konkrete effekter i form af en større grad af kvalitetssikring og hurtigere KS-proces, samt mere abstrakte effekter i form af en bedre bygherreforståelse af projektets kvaliteter og en større sikkerhed med hensyn til projektets konsistens samt en bedre dokumenteret fremdrift.

Indirekte effekter

- **Bedre kommunikation med bygherren gennem rumlige visualiseringer af de alternative skitseforslag (A, tilfalder bygherre, rådgivere) SA, CS**
Kommunikation med bygherre går langt hurtigere med rumlige billeder som hjælpemiddel, herved får bygherren større tillid til sin rådgiver vedr. kompetencer og større tryghed ved de truffe beslutninger. IKT-konceptet bidrager til et større tillidsforhold mellem bygherre og rådgivere.



Figur 2: Illustrationen viser det andet af to mindre byggeprojekter, der er med i casen. Her ses funktionalitetet i at vise flere, rumlige billeder af samme model.

Afledte effekter

- **Besparelse på energiforbrug ved energisimulering på alternativer, overslag (ca. 150.000, tilfaldet bygherre) SA**

Energiforbrug og drift. Ved at udføre energiberegninger på de to alternative projektforslag vil der kunne høstes gevinster hos bygherren i det omfang, han vælger det forslag med laveste energiforbrug. Hvis der eksempelvis er en forskel på det årlige energiforbrug mellem de to forslag på 5.000,- kr. (et erfaringsmæssigt estimat fra arkitekttegnestuens projektportefølje), vil det kunne omsættes til besparelser i en driftsperiode på 30 år på kr. 76.000,- kr. i nutidsværdi.

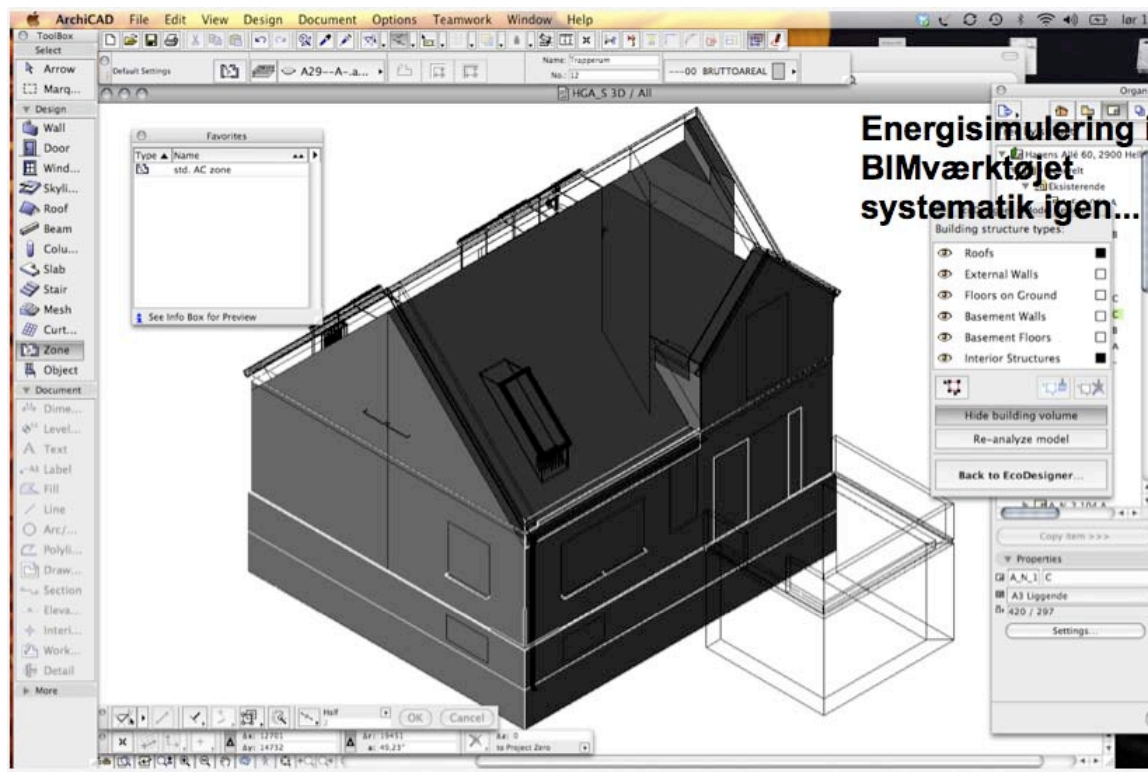


Fig. 3: Illustrationen viser linket mellem bygningsmodel og energisimuleringen visualiseret.

Potentielle gevinster

- **Udnyttelse af projektweb som udvekslingsplatform (tilfalder arkitekt og bygherre)**

Der tilbydes projektweb, hvor projektmateriale lægges op. Med større kompetence hos bygherren vil det kunne udnyttes bedre. Det ville kunne give rådgiver direkte tidsmæssige besparelser og sparede kopieringsudgifter samt give bygherren større sikkerhed for adgang til opdateret projektmateriale.

- **Anvendelse af modelviewer hos bygherren (tilfalder bygherre)**

Der er ikke installeret modelviewer software hos bygherren til selvgranskning. Dog er der med i leverancen en modelrepræsentation, der kan ses med QuickTime. En dedikeret modelviewer kan installeres gratis og vil kunne hjælpe bygherren ved granskning af projektet. En anden løsning er at sende bygningsmodellen som fil til uploading på Google Earth (kræver ingen installation af viewer).

- **Priskalkulation, overslag (tilfalder bygherre) SA**

Hvis der udføres en overslagsberegning på anlægsudgifterne ved at flette en genereret stykliste med en prisdatabase, eksempelvis V&S prisdata, vil bygherren have et bedre udgangspunkt i en beslutningsproces og senere i en udbudsforretning. Leverancen har været overvejet af arkitekten, men var ikke efterspurgt af bygherren og derfor uden for aftalen.

IKT-risikovurdering

Der er ikke blevet identificeret specifikke risici ved anvendelsen af IKT-konceptet for gennemførelsen af Hovedproces 1. Dette skyldes primært, at denne hovedproces dels ikke indeholder aktiviteter, hvor der er flere end 2 parter involveret, hvoraf arkitekten er styrende, og dels at aktiviteterne er både velkendte, velafprøvede og ikke er særlig komplekse samarbejdsmæssigt. IKT-konceptet er gennemløbet mange gange af arkitekten (siden 1998).

Den ekstra omkostning ved udarbejdelse af en bygningsmodel i skitsefasen er en økonomisk risiko for arkitekten, hvis skitseforslaget ikke videreføres efterfølgende i en hovedprojektering. Det har ikke været et problem for arkitekten at sikre sig et merhonorar for denne ydelse.

Hovedproces 2: Udarbejdelse af myndighedsprojekt

Denne hovedproces nedbrydes i følgende delprocesser:

- Konkretisering af skitseprojekt, hovedprojektering
- Projektkoordinering
- Beregning af konstruktion
- Overslagsberegning af varmetab
- Udarbejdelse af materiale til myndighedsprojekt
- Dialog/forhandling med godkendende myndigheder

I denne hovedproces er det arkitekten, bygherren og den rådgivende konstruktionsingeniør, der er IKT aktive i byggeprocessen. Det er valgt ikke at medtage de godkendende myndigheder i målingerne.

Rationaliseringsgevinster

For beskrivelse af de begreber der indgår henvises til det tilsvarende afsnit for Hovedproces 1.

Direkte effekter

- **Hurtigere projektering af myndighedsprojekt (6.500 kr., tilfalder arkitekt) SA**

Udarbejdelsen af et myndighedsprojekt kan gennemføres hurtigere end i et traditionelt byggeprojekt, da arbejdsmetoden bygger på en yderligere konkretisering af bygningsmodellen fra skitseringsfasen (opgradering fra informationsniveau 2 til 3). Der optræder således genbrug af information i stort omfang. Forudsætningen er, at IKT-konceptets 3D modellering er anvendt i den forudgående fase.

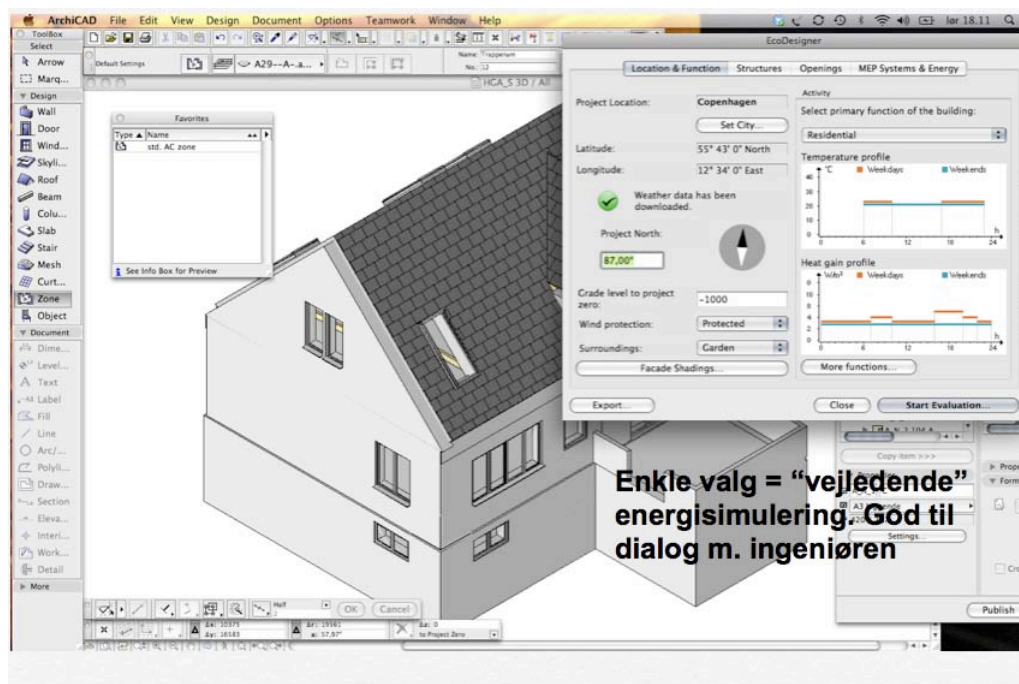


Fig. 4: Illustrationen viser forbindelsen mellem bygningsmodellen og energiberegningen på overslagsniveau. Her er der interoperabilitet mellem modelværktøjet og beregningsværktøjet.

- **Hurtigere beregninger for ingeniøren (3.000 kr., tilfalder ingeniør) JP**
Simulering af konstruktionsløsninger og varmetabsberegninger kan foretages hurtigere end i et traditionelt byggeprojekt, primært muliggjort ved genbrug af projektdata fra bygningsmodellen, der udveksles mellem arkitekt og konstruktionsingeniør. Der udveksles i proprietært format: ArchiCAD. Realisatoren er konstruktionsingeniøren. Den simple modeludveksling gør det muligt for arkitekten at bidrage til denne delproces.
- **Mindre opklaringsarbejde (A, tilfalder ingeniør og arkitekt) JP**
Den rådgivende ingeniøren har oplevet, at behovet for afklaringer med arkitekten om projektets byggetekniske aspekter samt behovet for koordineringsmøder er blevet mindre som følge af brugen af IKT-konceptet.
- **Hurtig opdatering af projektmateriale (A, tilfalder arkitekt og ingeniør) SA, JP**
Ændringer, tilføjelser og detaljeringer af byggeprojektet som følge af beslutninger truffet af arkitekt, rådgivende ingeniør og bygherren kan hurtigere og med mere konsistens indføres/tilføjes i projektmateriale end i en traditionel dokumentbaseret metode.

Indirekte effekter

- **Bedre opfyldelse af bygherrebehov (A/B, tilfalder bygherre) SA**
Med udgangspunkt i bygherrens indledende kravspecifikation, som er fastlagt i programmerings- og skitsefasen, vurderer arkitekten at det er muligt at forbedre opfyldelsen af bygherrens behov, primært pga. at 3D arbejdsmetoden muliggør en bedre simulering af de konstruktions- og energiforbrugsmæssige aspekter i byggeprojektet.

Afledte effekter

- **Øget tryghed gennem processen (A, tilfalder bygherre) AS, CS, KSN**
Bygherren har efter arkitektens vurdering været tryk igennem hele byggeprocesforløbet vedrø-

rende både byggeprojektets fremdrift og kvaliteten. Årsagen til effekten er primært en god indsigt i (a) fremdriften i byggeprojektet og (b) hvordan det færdige resultat af byggeprojektet bliver, hvilket begge er resultater, som det ikke i samme grad er muligt at opnå efter en traditionel arbejdsmetode

- **Bedre samarbejde (B, tilfalder alle) AS, JP, CS, KSN**

Alle interviewede parter bekræftede enstemmigt, at projektsamarbejdet er bedre end i et traditionelt byggeprojekt primært forårsaget af, at forståelsen af byggeprojektets kvaliteter og fremdrift er bedre pga. IKT-konceptets modelbaserede metode.

Potentielle gevinster

- **Kalkulation af anlægsomkostninger og drift (tilfalder bygherre) SA**

IKT-konceptet har forudsætningerne til at beregne et overslag over omkostningerne ved byggeriet gennem at udtrække styklister fra bygningsmodellen og kalkulere overslagspriser fra en erfaringsdatabase som eksempelvis V&S prisdatabase. Det vil også være muligt at beregne driftsomkostninger ved alternative projektløsninger gennem energiberegningen. Herved etableres muligheden for, at bygherre kan træffe et kvalificeret valg mellem alternative forslags totaløkonomi.

- **Simulering af bygningsfysiske egenskaber (tilfalder bygherre/samfund) (SA)**

Etableringen af en digital, objektbaseret bygningsmodel gør det muligt at udføre en række bygningsfysiske simuleringer – ud over energiberegningen på overslagsniveau. Relateret til den konkrete casetype og med udgangspunkt i arkitektrådgiverens kompetencer foreslås simulering af **indretningen** af de enkelte rum, eksempelvis køkken, bad, men også generelle egenskaber som **farvesætning** på vægge, lofter og træværk.

Simulering af **dagslys og lysniveau** i rummene vil give gevinst for bygherren igennem beslutninger, der kan spare udgifter til kunstlys. Dagslyssimulering ligger til overvejelse hos arkitekten som en ny leverance, der kan tilbydes når behovet opstår hos bygherren.

IKT-risikovurdering

Væsentlig IKT-risici blev identificeret omkring manglende standarder for udveksling af data mellem byggeprojektets parter, hvilket både mindsker effektiviteten af informationsoverførsel mellem parterne og er en generelt hæmsko for samarbejdet mellem byggeprojektets parter. Denne risiko mindskes ved et tæt samarbejde mellem parterne over flere byggeprojekter. Herved kan opbygges en intern udvekslingsprocedure målrettet de konkrete opgaver. Et sådan samarbejde er etableret mellem arkitekten og ingeniørrådgiveren.

Hovedproces 3: Hovedprojektering og udførelse

Målingerne i hovedproces 3 er gennemført for byggeprojektet Hagens Allé 60.

Denne hovedproces nedbrydes i følgende delprocesser:

- Udarbejdelse af udbudsmateriale
- Gennemførelse af udbud
- Valg af tilbud og hovedentreprenør
- Gennemførelse af hoved- og fagentrepriser
- Aflevering af byggeprojekt til bygherren
- Aflevering af 'as built' projektmateriale, inklusive bygningsmodel i IFC format.

I denne hovedproces er det arkitekten, ingeniøren, bygherren (via rådgiver) og hovedentreprenøren, der er IKT aktive i byggeprocessen.

Rationaliseringsgevinster

For beskrivelse af de begreber der indgår henvises til det tilsvarende afsnit for Hovedproces 1.

Direkte effekter

- **Billigere tilbud fra entreprenøren (180.000 (10 % af tilbudssum), tilfalder bygherre) PM**
En central rationalitetsgevinst blev identificeret og målt i udførelsesforløbet. Det anvendte IKT-koncept resulterede i en objektorienteret bygningsmodel, der blev anvendt til at udtrække præcise mængder, der direkte blev anvendt ved gennemførelse af et delvist digitalt udbud/tilbud. Grundet den præcise mængdeopgørelse og forventningen om konsistens i projektet i kraft af den modelbaserede metode afgav den vindende entreprenør et væsentlig billigere tilbud (en besparelse for bygherren på 10 %) end hvad han eller ville have gjort ved et traditionelt byggeprojekt. At der bliver givet et billigere entreprisetilbud kan have mange årsager. I dette tilfælde stammer informationen fra entreprenøren selv, og argumentet er gode erfaringer med et projektmateriale, der stammer fra IKT-konceptet.
- **Højere kvalitet i udbudsmaterialet (B, tilfalder entreprenør og bygherre) PM**
Kvaliteten i udbudsmaterialet vurderes af entreprenøren som generelt højere end i et traditionelt byggeprojekt. Hovedårsagen bag denne gevinst er, at alle data i udbudsmaterialet stammer fra udtræk fra den opbyggede BIM i byggeprojektet, hvor alle data dels er konsistente med bygningsmodellen (dette gælder både mængdeudtræk og tegningsmaterialet), og dels at nøjagtigheden af data i udbudsmaterialet er høj.
- **Færre fejl i hovedprojektmaterialet (B, tilfalder entreprenør, bygherre) SA, PM**
Der har været færre fejl i hovedprojektmaterialet, hvilket primært skyldes, at IKT-konceptet muliggør, at alle informationer og data under hovedprojekteringen er indbyrdes koordineret og kontrolleret (eksempelvis ved at anvende den indbyggede kollisionskontrol i ArchiCAD). Dette har forårsaget færre stop på byggepladsen og dermed sparet tid for hovedentreprenør og fagentreprenører. Denne besparelse for entreprenøren har ikke kunnet opgøres i tid eller penge, men vurderes at ligge højt. Gevinsten er kapitaliseret af bygherren gennem det billigere tilbud.
- **Hurtig opdatering af projektmateriale og produktion af 'as built' projektmateriale (A, tilfalder arkitekt og ingeniør) SA, JP**
Alle parterne i byggeprojektet oplevede, at projektmaterialet blev hurtigere opdateret end i ved en traditionelt dokumentbaseret arbejdsmetode. Dette skyldes delvis en effektiv indsats fra arkitektens side og delvis, at IKT-konceptet muliggør, at bygningsmodellen og derved projektmaterialet let kan opdateres. Dette slår også igennem i forbindelse med udarbejdelse af 'as built' projektmateriale inkl. leverancen: 'as built' bygningsmodel i IFC format.

Indirekte gevinster

- **Fagspecifikt projektmateriale/udtræk af mængder (A, tilfalder entreprenør) PM**
Undervejs i udførelsen har det endvidere været muligt løbende at få genereret fagspecifikt tegningsmateriale og mængdeudtræk efter fagentreprenørens konkrete behov i byggeprocessen.
- **Bedre tegningsmateriale, adgang til flere informationer (B, tilfalder entreprenør) PM**
Entreprenøren har på grund af IKT-konceptet fået adgang til et bedre tegningsmateriale end i et traditionelt byggeprojekt. Hovedentreprenøren har fået udleveret et tegningssæt bestående af

plantegninger, opstalter og snittegninger i målestok 1:20/50, dvs. det samme tegningsmateriale, som man typisk vil få i et traditionelt byggeprojekt, men suppleret med mere detaljerede tegninger, der er udførelsesorienterede.

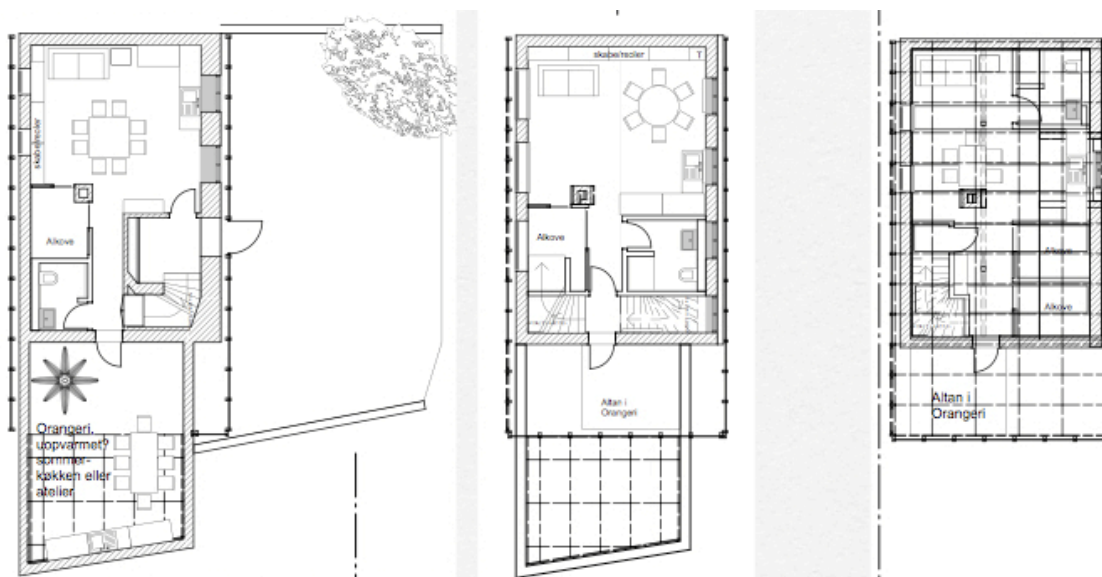


Fig 5: Illustrationen viser 3 etageplaner genereret fra den digitale bygningsmodel i modellingsværktøjet.

Afledte effekter

Effektivt og forudsigeligt sagsforløb (A, tilfalder bygherre) CS

Bygherren har været tryk igennem hele byggeprocesforløbet vedrørende både byggeprojektets fremdrift og kvaliteten. Årsagen til effekten er primært et godt overblik over 1) fremdriften i byggeprojektet og arbejdsdelingen samt 2) hvordan den færdige bygning bliver, hvilket begge er resultater, som det ikke i samme grad er muligt med en ikke-modelbaseret arbejdsmetode.

- **Mindre stress pga. bedre overblik/indsigt i projektmaterialet/byggeprocessen (A, tilfalder entreprenør) PM**

Entreprenøren har i byggeprojektet oplevet, at stressniveauet er væsentlig mindre end i traditionelt byggeprojekt. Denne gevinst er dels et resultat af bedre overblik over de daglige arbejdsopgaver i byggeprojektet og et mere detaljeret projektmateriale, som IKT-konceptet har bidraget væsentligt til.

Potentielle gevinster

- **Adgang til bygningsmodellen for entreprenøren (tilfalder entreprenør og rådgivere)**

Dette vil give entreprenørerne lettere adgang til målrettet projektfinformation. En 3D objekt-orienteret bygningsmodel giver entreprenøren mulighed for selv at granske projektet og skaffe supplerende projektfinformation. Dette vil spare tid for entreprenørerne og aflaste rådgiverne tidsmæssigt i udførelsesfasen gennem reduktion i antal RFI.

- **Anvendelse af bygningsmodellen til projektstyring og logistik (tilfalder entreprenør)**

IKT-konceptet åbner mulighed for gevinster for entreprenøren ved at anvende bygningsmodellen aktivt i produktionsprocesserne. Det gælder tidsstyringen af produktionen (4D) og økonomistyringen (5D). Afledte processer, hvor bygningsmodellen kan være et værktøj, er indretning af byggeplads, placering af depoter og materiel, forbrug og indkøb af materialer løbende og udarbejdelse af 'mangellister'.

- **Anvendelse af bygningsmodellen til drift og vedligehold (tilfalder byg- og driftsherre)**

En bygningsmodel, som repræsenterer i IKT-konceptet, kan anvendes til systematisk styring af vedligehold. Bygningsmodellen kan anvendes til Facilities Management i bredeste forstand gennem modelbaserede FM systemer. Bygningsmodellen kan anvendes ved senere ombygning og renovering. Forudsætningen for gevinst er, at bygherren opdaterer bygningsmodellen. Gevinstpotentialer for en éngangs bygherre og et enfamiliehus er begrænset.

IKT-risikovurdering

De samme væsentlige IKT-risici, som i forrige hovedproces, blev identificeret omkring manglende standarder for udveksling af data mellem byggeprojektets parter, hvilket både mindsker effektiviteten af informationsoverførslen mellem parterne og er en generelt hæmsko for samarbejdet. IKT-risici mindskes ved et formaliseret samarbejde parterne imellem. Dette kan etableres gennem gentagelse af arbejdsmetoden ved flere fælles byggeprojekter. Herved kan opbygges en intern udvekslingsprocedure målrettet de konkrete opgaver og et tillidsforhold omkring hinandens kompetencer. Et sådan samarbejde er ikke etableret mellem rådgiverne og entreprenørerne i casen grundet den noget tilfældige samarbejdsfrekvens forårsaget af licitationsformen, hvor entreprenørerne udvælges primært på prisen.

Opsummering af effektivvurderingen

I det følgende opsummeres resultaterne af casens effektivvurdering.

Opsummeringen er foretaget med udgangspunkt i følgende præmisser:

- Der er kun medtaget de gevinster og omkostninger, der er erkendt af casens aktører. Det være sig gevinster målt i kroner eller %'er og gevinster målt i forhold til gevinstniveau. Der er andre effekter i casen, der ikke er erkendt og realiseret af de deltagende aktører
- Opsummeringen er overordnet opdelt i de forskellige projektparter. I tabel 1 kan man direkte aflæse gevinster og omkostninger på virksomhedsniveau. Projektniveauet er repræsenteret ved summen af gevinster og omkostninger for alle indgående parter, tabel 2. Dette kan lade sig gøre ved så lille en byggesag som casens.
- Skemaerne i denne case er ikke differentieret i forhold til direkte, indirekte og afledte effekter, da disse begreber er kontekstafhængige.

Virksomhedsniveau: Gevinster og omkostninger fordelt på de enkelte parter

Aktivitet fordelt på projektpart	Gevinst, Omkostning og resultat finansielt	Gevinst værdisat ikke finansielt
Arkitekt		
Gevinster		
Større honorar, mere konsistent skitseprojekt	9.000	
Bedre/hurtigere skitseprojekt		A
Hurtigere opdatering		A
Bedre/hurtigere kvalitetssikring		A
Hurtigere myndighedsprojekt	6.500	
Mindre opklaringsarbejde		A
Hurtigere opdatering		A
Hurtigere myndighedsproces		A
Udtrække mængder fra BIM		A

Bedre samarbejde		B
Hurtigere opdatering til 'as built'		A
Gevinster total	15.500	Meget højt
Omkostninger		
Årlige afskrivninger	5.133	
Driftsomkostninger	11.178	
Omkostninger total	16.311	
Netto resultat	- 811	Meget højt
Rådgivende Ingeniør		
Gevinster		
Hurtigere beregninger fra ingeniør, datagenbrug	10.000	
Mindre opklaringsarbejde		A
Hurtigere opdatering		A
Energiberegning til myndighedsprojekt, datagenbrug	3.000	
Hurtigere myndighedsproces		B
Bedre samarbejde		B
Hurtigere opdatering til 'as built'		A
Gevinster total	13.000	Meget højt
Omkostninger		
Årlige afskrivninger	5.000	
Driftsomkostninger	7.350	
Omkostninger total	12.350	
Netto resultat	650	Meget højt
Entreprenør		
Gevinster		
Bedre samarbejde		B
Bedre kvalitet i udbudsmaterialet		B
Færre fejl i hovedprojektaterialet		B
Løbende udtræk af mængder		A
Adgang til flere informationer		B
Mindre stress		A
Besparelse ved udbud samt udførelse	*180.000	
Gevinster total	180.000	Højt
Omkostninger		
Afgivelse af billigere tilbud	180.000	
Omkostninger total	180.000	
Netto resultat	0	Højt
Bygherre		
Gevinster		
Energiberegninger i skitsefasen (nutidsværdi af værdien af at tage energiforbrug under driften i betragtning)	**(76.000)	
Automatisk energiberegning	3.500	
Øget tryghed gennem planlægningen		A
Bedre samarbejde		B

Billigere tilbud fra entreprenøren Øget effektivt og forudsigelighed	180.000	B
Gevinster total	183.500	Meget højt
Omkostninger		
Honoreret merydelse for 3D arbejdsmetode	9.000	
Omkostninger total	9.000	
Netto resultat	174.500	Meget højt

* Besparelsen er konservativt sat, da entreprenøren kan have opnået en større besparelse end estimeret i tilbuddet. Gevinsten ligger på projektniveau, da den for entreprenøren er modsvaret af en tilsvarende omkostning ved afgivelse af billigere tilbud.

**Gevinsten på 76.000 nutidsværdi blev ikke indløst i casen. Den er i casebeskrivelsen kategoriseret som en potentiel gevinst.

Tabel 1: IKT-konceptets gevinster, omkostninger og resultat opgjort for de enkelte parter.

Projektniveau: Gevinster og omkostninger samlet for projektet

Projektniveau: Samlede gevinster og omkostninger for aktørerne	Gevinst, Omkostning og resultat finansielt	Gevinst værdisat ikke finansielt
Samlet projekt (byggesum: 1.800.000)		
Gevinster		
Arkitekt	15.500	A
Ingeniør	13.000	A
Entreprenør	0	B
Bygherre indløst	183.500	A
Gevinster total	212.000	Meget højt
Omkostninger		
Arkitekt	16.311	
Ingeniør	12.350	
Entreprenør	0	
Bygherre	9.000	
Omkostninger total	37.661	
Netto resultat	174.339	Meget højt

Tabel 2: IKT-konceptets gevinster, omkostninger og resultat opgjort på projektniveau.

Beskrivelse af gevinster, omkostninger og resultat

Den totale økonomiske omkostning for IKT-konceptet er målt til en initial investering for rådgiverne på 10.133 kr. og driftsomkostninger forårsaget af arbejdsmetodens værktøjer på kr. 18.528. I alt omkostninger for 28.661 kr. for rådgiverne. Disse omkostninger modsvares af de gevinster, IKT-konceptet har præsteret på 28.500 kr., altså med et beskedent underskud på 161 kr. Entreprenøren er gevinstmæssig neutral, da han har modsvaret en forventet gevinst i et billigere entreprisetilbud. Han har ikke afholdt ekstra omkostninger i forbindelse med IKT-konceptet. Bygherren har med en relativ beskedent meromkostning på kr. 9.000 fået en stor direkte gevinst, nemlig et 10 % billigere entreprisetilbud til en værdi på 180.000 kr. Bygherren kunne ved en ekstra investering i yderligere energirenovering have fået en yderligere gevinst på 150.000 kr. (omregnet i nutidsværdi: 76.000 kr.).

Hertil kommer en lang række ikke-finansielle gevinster, som primært er forårsaget af IKT-konceptets modelbaserede arbejdsmetode. De digitale bygningsmodeller har betydet større konsistens i projektmaterialer og forbedret adgang til projektdata, som igen har betydet en mere transparent byggeproces og øget tryk mellem parterne.

På **virksomhedsniveau** har arkitekten ved en relativ beskedne investering, der kan fordeles over flere projekter, kunne introducere en 3D modelbaseret arbejdsmetode til afløsning af en traditionel dokumentbaseret. Det er lykkedes ham at få bygherren til akceptere meromkostningen i designfasen med argumenter om en bedre bygning og en bedre proces. 3D arbejdsmetoden har så givet en række indirekte og afledte gevinster i form af hurtigere opdatering, udveksling af modeldata, styklistegenerering m.m.

På **projektniveau** har ingeniørrådgiveren modtaget modeldata fra arkitekten, og på den måde kunne rationalisere granskning, registrering og modelopbygning i sine processer.

Entreprenøren kunne rekvirere supplerende fagspecifik dokumentation og mængdelister, der har lettet hans arbejdsprocesser.

Bygherren har for en relativ beskedne meromkostning på kr. 9.000 i forbindelse med IKT-konceptet givet en relativ stor gevinst på ca. 279.000 kr., hvoraf de 76.000 til energirådgivning ikke blev indløst. Når man fratrækker IKT-konceptets omkostninger hos de andre parter, får man et nettoresultat på projektniveau på 178.270 kr. ud af en samlet projektsum på 1.800.000 kr., altså en ca. 10 % besparelse.

Samfundsmæssigt ville der også være en gevinst. Den samfundsmæssige besparelse er ikke blot de 76.000 kr. i energibesparelse men også reduktionen i udførelsesomkostninger på de ca. 10 %.

Barrierer og forudsætninger for implementering

Diskussion af teknologien

Modelleringsværktøjet, rådgiverne anvender, er teknologisk tilstrækkeligt til at gennemføre IKT-konceptet. Konceptet har fokus på tegningsgenerering, visualisering, dataudtræk og udveksling, og her er modelleringsværktøjet velegnet. Det generelle modelleringsproblem vedr. detaljering af modellen løses gennem supplerende detaljetegninger, som ikke alene er modelbaserede. Modelkonsistens løses primært visuelt, der er dog mulighed for kollisionskontrol i modelleringsværktøjet.

Projektweb fungerer teknisk tilfredsstillende for konceptet, og funktionaliteten er ikke fuldt udnyttet. Udveksling af modeldata til anden part giver ingen tekniske problemer, da det er den simplest mulige type udveksling – udveksling mellem ens programmer.

Udveksling til energiberegningsprogrammet er implementeret i softwaren og velafprøvet.

En række andre teknologier, eksempelvis modelviewer, hvor nogle er frit tilgængelige, vil kunne udnytte potentialer i konceptet. Softwaren vurderes at have en funktionalitet, der vil kunne opfylde Det Digitale Byggeris bygherrekrav, dog skal objektklassificeringen efter DBK foregå manuelt.

Diskussion af kompetencer

IKT-konceptet stiller relativt store krav til kompetencer på områderne: 3D arbejdsmetode, modellering i BIM-værktøj, tegningsopsætning og -generering, styklistegenerering, erfaring med udveksling af modeldata, kendskab og konfiguration af simuleringsværktøj (energiberegning) m.m..

Kompetencerne er for rådgiverne erhvervet gennem uddannelsen, ved kursusdeltagelse og egen udforskning af metode- og værktøjsmuligheder på baggrund af stor interesse for digitalisering.

Det er projektgruppens vurdering, at andre medlemmer af målgruppen vil kunne erhverve tilsvarende kompetencer på relativ kort tid. Det kræver dog en virksomhedsstrategi for digitalisering og en mindre investering i software. Kompetencerne vil blive løftet ved flere gennemløb af IKT-konceptet.

Diskussion af samarbejdsrelationer og projektintegration

De professionelle samarbejdsrelationer ligger i casen på to niveauer. En aftalt 3D modeludveksling med en part (konstruktionsingeniøren) og en 2D dokumentbaseret med anden part (installationsingeniøren). Det første niveau sikrede den største koordinering og de færreste fejl i projektmaterialet og gav samtidigt en rationaliseringsgevinst i tid gennem genbruget af data.

Ved at løfte andre parter op til at kunne modtage 3D modeldata vil der her kunne opnås større gevinster i form af hurtigere processer, bedre konsistens i projektmaterialet, færre fejl på byggepladsen i forhold til casens målinger.

En opbygget samarbejdsrelation, hvor fælles metoder er afprøvet gennem flere projektforsøg, vil kraftigt forstærke muligheden for rationaliseringsgevinster. Dette er dog ikke fuldt dokumenteret i casen på grund af den tidsbegrænset monitorering. Dog kan der spores en tendens i gevinstmuligheder i forhold til integrationen mellem de 3 rådgivere, hvor de rådgivere, der repræsenterer den største integration også viser de største gevinster.

Diskussion af lovgivning/ydelsesbeskrivelser/honorarer

IKT-konceptet modelbaserede metode indebærer, at der bliver anvendt større ressourcer i starten af projektforsøget i forhold til en dokumentbaseret metode, nemlig ved den initiale opbygning af bygningsmodellen, som er omdrejningspunktet for alle efterfølgende hovedaktiviteter. Dette afstedkommer en konflikt med standardhonorarerne for de forskellige faser i en traditionel fasemodel, som er beskrevet i ydelsesbeskrivelserne.

Endvidere er der problemer i betaling af merydelser, som ikke er beskrevet i ydelsesbeskrivelserne, men som kan have en reel nytteværdi for bygherren og andre parter. I casen var der usikkerhed om et større honorar i skitsefasen var en selvstændig honoreret merydelse eller en forudbetaling fra det totale rådgiverhonorar. Nogle af disse uafklarede spørgsmål kan sætte en bremse for implementeringen af IKT-konceptet.

Konklusion

Casen viser, at det er konkurrencedygtigt for en mindre rådgivervirksomhed at udføre sine skitserings- og projekteringsaktiviteter med anvendelse af en BIM-baseret arbejdsmetode. Rådgiverhonorarerne er tilnærmelsesvis de samme som for en tilsvarende dokumentbaseret projektering, støttet af 2D tegninger. De ekstra omkostninger, som er forårsaget af IKT-konceptet, er modsvaret af øgede gevinster. Hertil kommer det større honorar i skitseringsfasen, som modsvare et større arbejde i denne fase med at etablere den grundlæggende, digitale bygningsmodel. Det var muligt i caseprojektet at overbevise bygherren om de ekstra gevinster, denne merydelse fra arkitekt-rådgiveren ville give.

De største rationaliseringsgevinster blev høstet af bygherren i form af 1) billigere tilbud fra entreprenøren på ca. 10 % af projektsummen (forventet rationaliseringsgevinst indregnet i tilbuddet) og 2) reducere udgifter til drift og energiforbrug gennem udarbejdelse af to alternative skitseforslag med simuleringer af energiforbruget i de to scenarier. Det mere omfattende energiprojekt blev ikke besluttet og derfor blev denne gevinst ikke indløst.

Hertil kommer, at 3D arbejdsmetode konceptet tilbyder en lang række nye muligheder, som er helt fraværende ved et dokumentbaseret koncept. Nogle af disse muligheder blev udnyttet i casen: automatisk tegningsgenerering, 3D visualisering, automatisk styklistegenerering, varmetabs- og energiberegning, udveksling på modelniveau samt koordinering af projekthinformation via bygningsmodellen. Dette sikrede mere konsistente projekthinformationer, bedre og hurtigere kommunikation og dataudveksling via modeller samt bedre koordinering mellem rådgiverne og dermed færre fejl i projektmaterialet og efter-

følgende færre potentielle tvister. Resultatet er reducerede omkostninger, en bedre markedsføring af virksomheden og mulighed for nye leverancer og forretningsområder.

Fremtidige gevinster ligger primært gennem en IKT opgradering på teknologi og kompetencer hos hovedrådgivers samarbejdspartnere, både de andre rådgivere, hoved- og fagentreprenører og bygherrer. Disse gevinster kan til et vist niveau indløses ved at vælge faste samarbejdspartnere, der ligger på et højt IKT-niveau eller ved at medvirke til, at niveauet øges hos de aktuelle samarbejdspartnere.

Omkostninger til konceptet er relativt beskedent i forhold til udbyttet, så det er oplagt, at andre tilsvarende virksomheder inden for målgruppen, som er relativt stor, kan implementere konceptet. Casen har dokumenteret, at der er direkte gevinster på kort sigt. Der er også konstateret indirekte gevinster i form af genbrug af modeldata i andre processer i virksomheden, eksempelvis ved arkitekten lysberegninger og ingeniørens energiberegninger. De store gevinster ligger dog som afledte gevinster hos bygherren i udbudsfasen og i driftsfasen. Det er her anvendelsen af en konsistent og velkoordineret bygningsmodel slår igennem. Det vurderes, at i fremtidige projekter vil rationaliseringsgevinsterne stige yderligere, dels gennem udvikling af faste rutine ved gentagelsen af processerne i IKT-konceptet og dels i takt med, at flere af de potentielle gevinster udnyttes.

Figuren er en grafisk fremstilling af væsentlige karakteristika for de enkelte delprocesser i casen. Figuren giver et overblik over på hvilket hovedaktiviteter, der er dækket og på hvilket niveau de forskellige karakteristika befinder sig på. De mørke farver viser: fuldt dækket, de lyse: er repræsenteret, men mindre dækket.

[illegible]

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Telephone 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk

DTU Byg Rapport SR 12-02